

인천국제공항 줄눈콘크리트 슬래브의 초기재령 특성분석

Analysis of Early-age Property of JPCP Slab of Incheon Internatioanl Airport

썬런쥘안* · 정진훈** · 천성한*** · 임진선****

Sun, Ren Juan · Jeong, Jin Hoon · Cheon, Sung Han · Lim, Jin Sun

Abstract

A jointed plain concrete pavement(JPCP) slab was tested in Incheon International Airport construction work to study the early-age property of JPCP slab. The temperature and moisture data of the concrete slab had been collected and analyzed. The setting time of the concrete was decided by using the maturity method. The initial setting time is 2 hours 40 minutes after the placement of the slab. The investigation and analysis of the slab began from the initial setting time. The strains of different locations and different depths of the slab show different variation character.

key words : Concrete pavement, Temperature, Moisture, Initial setting time, Strain

줄눈콘크리트 슬래브의 초기 재령특성 분석을 위하여 인천국제공항 건설 현장에 설치된 슬래브에 온도와 습도를 측정 후 해석하였다. 성숙도 방법을 이용하여 결정한 콘크리트 슬래브의 초기경화시간은 콘크리트 타설 후부터 약 2시간 40분이었다. 콘크리트 슬래브 변형률의 변화는 초기경화 시간 이후부터 시작되었고, 이는 센서가 설치된 각 위치와 깊이에서 서로 다른 값을 나타냈다.

1. 서론

콘크리트 슬래브에는 타설 직후 발생한 콘크리트의 수화열과 태양열로 인하여 주간에는 상대적으로 많은 열이 발생하고 야간에는 주위의 온도가 하강하므로 대기로 열을 빼앗긴다(Jeong 2003). 이와는 반대로 대기 습도가 낮은 주간에는 콘크리트 슬래브가 수분을 잃게되고, 대기습도가 높아지는 예는 대기로부터 수분을 얻게 된다. 대기와 접하는 콘크리트 슬래브 표면의 온도와 습도 변화가 그 내부에서의 변화보다 크기 때문에 콘크리트 슬래브의 상하 간에는 연속적으로 온도와 습도차이가 발생한다. 이런 현상은 콘크리트 슬래브가 비틀리는 현상인 curling 와 warping을 일으켜 슬래브와 기층 간의 접촉 면적을 감소시킨다(Jeong 2003). 이는 콘크리트 슬래브의 조기파괴를 초래하고 장기성능에 영향을 준다. 콘크리트 슬래브의 초기경화시간 이후 슬래브의 강도가 증가되고 변형이 연속적으로 발생하는데, 이는 기상환경의 영향과 콘크리트의 수축 및 크리프가 주원인이다(Wells 2006). 콘크리트 슬래브의 초기거동 특성을 알아내기 위하여 본 연구에서는 콘크리트 슬래브의 온도, 습도, 변형률에 관한 조사와 분석을 수행하였다.

* 인하대학교 토목공학과 박사과정 E-mail:sunrenjuanpp@hotmail.com

** 인하대학교 토목공학과 조교수

*** 인천국제공항공사 과장, 공학박사

**** 인하대학교 토목공학과 석사과정

2. 테스트부분에 대한 소개

2006년 10월 19일, 인천국제공항에 건설되고 있는 콘크리트포장 중 오전 10시 20분경에 타설된 슬래브에 센서를 설치하였다. 슬래브의 두께는 50cm, 너비는 6m, 줄눈간격은 6m이고 아스팔트 안정기층 위에 타설하였다. 세로줄눈을 따라 13개의 다우웰바를 설치하였다.(그림 1) 슬래브의 5cm, 20cm, 35cm, 45cm 깊이에 thermocouple을 설치하여 온도 변화를 측정하였다. KIMO HD50습도센서는 5cm, 20cm, 35cm, 45cm 위치에서 습도 데이터를 얻었다. 습도센서는 매립형이 아니므로 콘크리트 슬래브 속에 PVC실린더를 미리 설치하여 원하는 시간에 센서를 삽입하여 측정할 수 있도록 하였다. 직경 30cm의 PVC실린더 측면에 슬래브 깊이 방향으로 5cm, 20cm, 35cm, 45cm 위치에 습도센서가 간신히 삽입될만한 직경의 작은 PVC케이싱을 설치하여 실험 시 습도센서를 케이싱에 삽입한 후 습도자료를 수집하였다. 슬래브의 위치별 응력을 측정하기 위하여 Geokon4200모델의 vibrating wire strain gage를 슬래브 4개의 위치에서 각각 5cm와 45cm의 깊이에 모두 8개를 설치하였다.

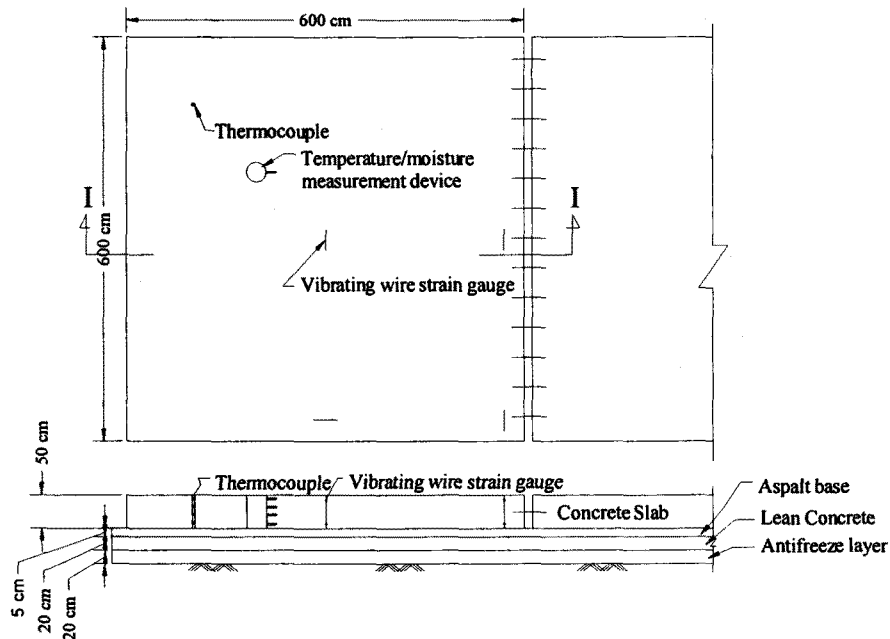


그림 1. 슬래브의 측정 장비 배치 (평면도와 I-I 측면도)

3. 슬래브의 온도와 습도

3.1 슬래브의 온도

콘크리트 슬래브 완성 후 3일 동안 슬래브의 깊이에 따라 측정된 온도의 변화는 그림2 와 같다. 시멘트의 수화작용으로 인해 타설 직후 급격히 온도가 상승하여 타설 이튿날 오후 3시경 최고온도에 이르렀다. 이후로 시멘트의 수화작용이 점차 감소하여 콘크리트 슬래브의 온도는 하강하는 추세를 보였다. 타설 후 24시간 동안 5cm 와 45cm 깊이에서의 온도는 15cm와 25cm 깊이에서의 온도보다 낮은 것으로 측정되었으며 이는 슬래브 상부 표면과 하부 표면의 열이 대기와 아스팔트 기층으로 각각 쉽게 빼앗겼기 때문으로 판단되었다. 슬래브 상부 표면 주변의 대기가 연속적으로 순환하는 것과는 다르게 아스팔트 기층 상단의 온도는 슬래브 하부표면에 가까워질수록 점차 상승하여 시간이 지남에 따라 15cm, 25cm, 45cm 깊이에서의 온도와 비슷해졌다. 대기온도의 일중 최고값과 콘크리트의 온도값이 일치하는 경향을 보였으며, 이러한 슬래브의 깊이에 따른 온도의 분포는 그림 3과 같이 비선형분포를 나타내었다.

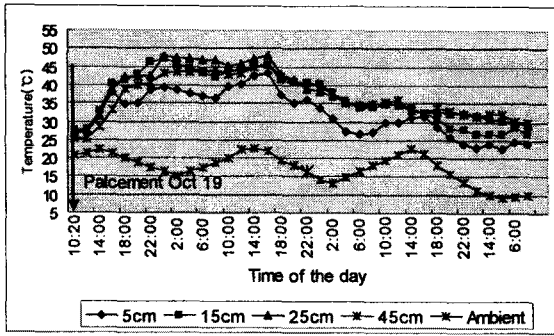


그림 2. 슬래브의 각 깊이별 온도변화

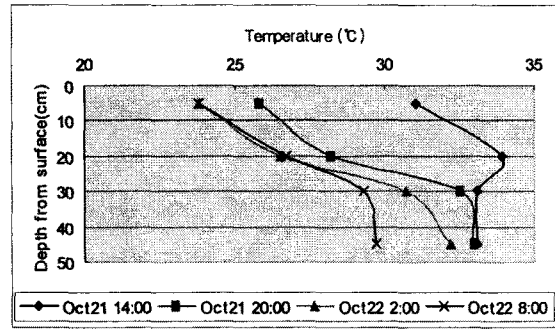


그림 3. 깊이에 따른 슬래브의 온도분포

3.2 슬래브의 상대습도

콘크리트 슬래브 각 깊이에서의 상대습도는 식(1)에 의하여 계산되었다.

$$RH(\%) = \exp\left[\left(\frac{17.502T_{\phi}}{240.97 + T_{\phi}}\right) - \left(\frac{17.502T}{240.97 + T}\right)\right] \times 100 \quad (1)$$

여기서

T = 건구온도

T_{ϕ} = 이슬점온도

콘크리트 슬래브 타설 직후 콘크리트가 수분을 많이 포함한 시점에서의 상대습도는 깊이에 상관없이 약 95%를 유지하였으며 시간이 지남에 따라 80~90%까지 사이까지 내려갔다가 다시 대기습도가 올라가고, 콘크리트 타설 이틀 후 야간에 약 95%로 회복되었다. 콘크리트가 수분을 잃음에 따라 상대습도도 점차 감소할 것으로 예상되며 이에 대해서는 보다 장기적인 조사가 필요하다고 판단된다. 대기습도의 일중 최고값과 콘크리트습도의 크기가 일치하는 경향을 보였다.

4. 슬래브의 경화시간 및 변형률

4.1 콘크리트 슬래브의 경화시간

콘크리트 슬래브의 경화시간은 ASTM C403에서 정하고 있는 성숙도 실험에 의하여 결정되었다. 판입저항치가 각각 3.5MPa와 27.6MPa일 때를 콘크리트의 초기경화시간 및 최종경화시간으로 규정하며 실험에 의하여 얻어진 각 시간에서의 콘크리트의 성숙도는 100C-hours, 152C-hours였다.(그림4) 실험에 의하여 얻어진 각 성숙도를 콘크리트 슬래브의 성숙도와 상호연관 시킨 결과, 초기경화시간과 최종경화시간은 각각 콘크리트 타설 후 2시간40분과 4시간인 것으로 밝혀졌다.

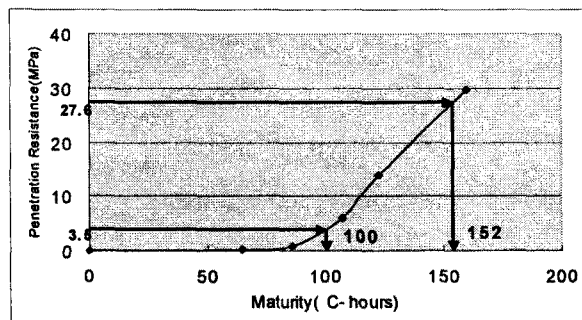


그림 4. 콘크리트의 성숙도

4.2 콘크리트 슬래브의 다른 위치의 변형률

콘크리트 슬래브의 변형률분석을 위한 4개의 실험위치는 횡방향 단부, 종방향 단부, 우각부, 중앙이며 각 위치에서 5cm와 45cm의 깊이에 총 8개의 센서를 설치하였다. 콘크리트 슬래브 변형률의 변화는 초기경화시간부터 시작하는 것으로 결정하였으며 변형률은 아래 식에 의하여 계산되었다.

$$\mu = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0)C_1 \quad (2)$$

여기서

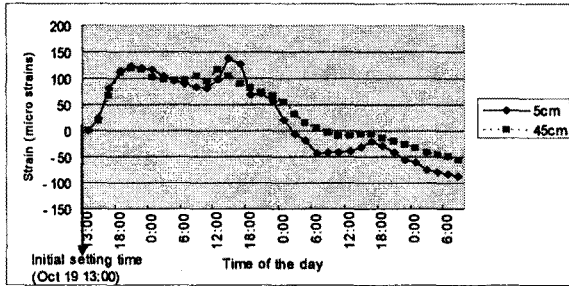
R_0, R_1 = 초기경화시와 측정시의 변형률

B = 계이팩터 (0.96)

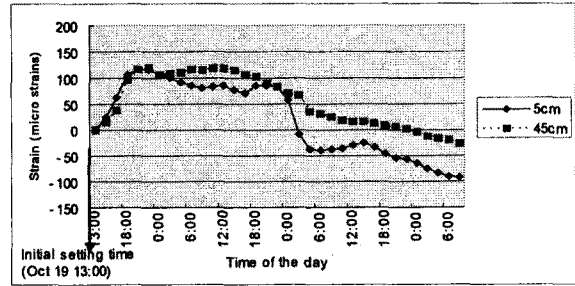
T_0, T_1 = 초기경화시와 측정시의 온도

C_1 = 센서의 열팽창계수 (12.2 microstrain/°C)

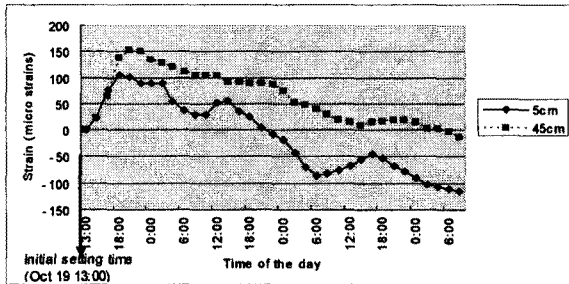
측정기간 동안 슬래브 상부의 변형률이 하부의 변형률에 비하여 변화가 많았음을 그림 5에서 알 수 있다. 이것은 슬래브의 상부가 하부에 비하여 기상환경의 변화에 더 많은 영향을 받았기 때문으로 보여진다. 초기경화 직후 슬래브의 상부와 하부 모두에서 인장변형률이 수 시간 동안 증가한 후 압축변형률로 변화하였으며 초기의 인장변형률은 주로 콘크리트 슬래브의 온도상승 때문에, 그리고 압축변형률은 콘크리트의 건조수축과 온도의 강하 때문에 발생한 것으로 판단된다. 변형률 분석을 실시한 4개소 모두에서 슬래브 상부의 변형률 변화가 하부에서 보다 더 컸으며 대기와 접하기 쉬운 위치일수록 변형률의 차이가 더 커서 우각부, 종방향단부, 횡방향단부, 중앙부의 순서로 그 차이가 큰 것으로 나타났다.



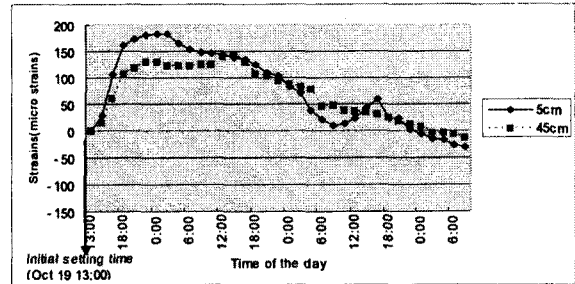
(a) 슬래브 횡방향 단부



(b) 슬래브 종방향 단부



(c) 슬래브 우각부



(d) 슬래브 중앙

그림 5. 콘크리트 슬래브의 변형률

5. 결론

콘크리트 슬래브의 초기온도는 계속 증가하여 타설 약 29시간 후 최고온도에 도달한 뒤 감소하였으며 대기온도와 마찬가지로 24시간을 주기로 변화하였다. 연속적으로 변화한 콘크리트 슬래브의 온도는 깊이에 따라 비선형분포를 나타내었다. 콘크리트 슬래브의 상대습도는 초기에 높은 값을 나타내다가 콘크리트가 대기로 수분을 빼앗기면서 감소하였으나 깊이에 따른 차이점은 발견할 수 없었고 장기적인 관찰이 필요한 것으로 판단되었다. 콘크리트의 온도상승으로 인하여 초기의 일정 시간동안 슬래브는 인장변형률을 나타내었으며 콘크리트의 온도하강과 건조수축으로 인하여 압축변형률로 변화하였다. 슬래브 상부의 변형률변화가 하부보다 컸으며 상부와 하부 간의 변형률 차이는 위치에 따라 다른 것으로 나타났는데 대기에 접하기 쉬운 위치일수록 차이가 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

신진교수 연구비로 본 연구를 지원한 한국학술진흥재단에 감사드립니다. 또한 본연구에 장비 및 인력을 지원한 (주)대우건설에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Jin-Hoon Jeong (2003). Characterization of Slab Behavior and Related Material Properties Due to Temperature and Moisture Effects. Ph.D.Dissertation, Texas A&M University.
2. Steven A. Wells (2006). Quantifying built-in construction gradients and early-age slab deformation caused by environmental loads in a jointed plain concrete pavement. International Journal of Pavement Engineering. Vol.7, No.4, pp.275-289.